

Pengaruh Faktor Alami dan Antropogenik Terhadap Luas Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan

The Influence of Natural and Anthropogenic Factors on the Area of Forest and Land Fires in Kalimantan

Lesi Mareta^{*,1,2}, Rahmat Hidayat², Rini Hidayati², Arnida Lailatul Latifah³

¹Applied Climatology Study Program, Graduate School, Bogor Agricultural University, Bogor 16680

²Department of Geophysics and Meteorology, Bogor Agricultural University, Bogor 16680

³Laboratorium of High-Performance Computing, Research Center for Informatics, Indonesian Institute of Sciences, Bogor, West Java 16916

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 12 Juni 2019

Direview: 17 Juni 2019

Disetujui: 14 Oktober 2019

Kata kunci:

CMIP5
GFED
Karhutla
Random forests

Keywords:

Anthropogenic
GFED
MRI-CGCM-3
Random forests

Direview oleh:

Rizatus Shofiyati, Maswar

Abstrak. Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) di Indonesia khususnya di Kalimantan menjadi ancaman bagi pembangunan berkelanjutan karena efeknya secara langsung bagi ekosistem, berkontribusi pada peningkatan emisi karbon dan berdampak pada keanekaragaman hayati. Karhutla dipengaruhi oleh faktor alami dan faktor antropogenik oleh aktivitas manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran pengaruh faktor alami dan antropogenik secara terpisah terhadap luas kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan. Pengaruh faktor alami dan antropogenik terhadap luas karhutla dianalisis dari data luaran model CMIP5 dengan teknik statistik *Random Forests*. Penelitian menggunakan data iklim dan data indeks karhutla. Data iklim terdiri dari variabel kelembaban relatif permukaan, suhu udara permukaan, dan curah hujan yang diperoleh dari luaran model MRI-CGCM3 CMIP5. Data indeks karhutla di Kalimantan diperoleh dari data *Global Fire Emissions Database* (GFED). Hasil analisis pada periode data tahun 1997 sampai dengan 2005 memperlihatkan karhutla terluas di Kalimantan terjadi pada tahun 1997 dan 2002. Variasi musiman historis luas karhutla di Kalimantan menunjukkan peningkatan pada bulan Juni, mencapai puncaknya pada bulan September dan mulai berkurang pada bulan November. Pada bulan Juni hingga Juli, faktor antropogenik bernilai positif yang berarti mengurangi kejadian kebakaran, sedangkan pada bulan Agustus hingga Oktober faktor antropogenik bernilai negatif, menyebabkan lebih banyak peristiwa karhutla.

Abstract. Forest and land fires in Indonesia, especially in Kalimantan, are considered as a threat to sustainable development because of their direct effect on ecosystems, their contribution to increasing carbon emissions, and their impact on biodiversity. Forest and land fires are influenced by two main factors, namely climate conditions, and human activity (anthropogenic) factors. The objective of this research was to analyze the influence of natural and anthropogenic factors on the area of forest and land fires in Kalimantan. The anthropogenic effects on the area of burn scars can be analyzed by using the output of the CMIP5 model with statistical techniques, Random Forests. The data used are climate data and index data on forest and land fires in Kalimantan. Climate data consist of the variables: surface relative humidity, surface air temperature, and rainfall which were obtained from the output of the MRI-CGCM3 CMIP5 model. Indices of Forest and land fires in Kalimantan were obtained from Global Fire Emissions Database (GFED). The results of the analysis showed that extensive forest and land fires during the period of 1997 to 2005 in Kalimantan, occurred in 1997 and 2002. Historically extensive seasonal variations of Forest and land fires in Kalimantan increased in June, reaching the peak in September and decreased in November. Between June and July, anthropogenic factors positively influenced (causing less burned area), while from August to October had a negative effect (causing larger) burned areas.

Pendahuluan

Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) merupakan ancaman potensial bagi pembangunan berkelanjutan karena efeknya dapat terjadi secara langsung bagi ekosistem, berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon dan berdampak pada kelestarian keanekaragaman

hayati (Tacconi 2003). Karhutla seringkali bukan hanya menjadi bencana lokal dan nasional di Indonesia, namun dampaknya telah meluas menjadi bencana regional. Polusi asap yang dihasilkan oleh karhutla menimbulkan kerugian bagi masyarakat di beberapa negara di kawasan Asia Tenggara terutama Singapura, Malaysia, dan Brunei Darussalam.

* Corresponding author: lesi_mareta@apps.ipb.ac.id

Karhutla dipengaruhi oleh faktor alami dan faktor aktivitas manusia. Iklim merupakan faktor alami yang dapat memengaruhi cara, tempat dan waktu berlangsungnya peristiwa karhutla. Kondisi iklim (suhu, kelembaban, curah hujan, dan kecepatan angin) di suatu tempat akan memengaruhi tingkat kekeringan dan penjaralan api (Aflahah *et al.* 2019).

Menurut BNPB (2013), penyebab kebakaran di Indonesia berasal dari kegiatan manusia, baik disengaja atau karena lalai. Kegiatan konservasi lahan menyumbang 34%, peladangan liar 25%, pertanian 17%, dan proyek transmigrasi 8%. Beberapa aktivitas manusia menjadi sumber utama api seperti saat pembukaan lahan untuk pertanian, perkebunan, kehutanan dan kebutuhan tempat tinggal (Lestari *et al.* 2014).

Selain menjadi sumber api langsung, aktivitas manusia juga melepaskan sejumlah besar karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), metana (CH₄), oksidanitrat, nitrogen dioksida (NO_x), dan partikulat yang bertindak sebagai rumah kaca yang telah dipantau oleh satelit beberapa tahun terakhir (Lestari *et al.* 2014). Peningkatan gas rumah kaca dan aerosol oleh aktivitas manusia (antropogenik) dapat menyebabkan perubahan suhu permukaan dan penerimaan curah hujan yang berakibat mempengaruhi potensi karhutla oleh faktor iklim.

Penelitian ini mengkaji luas karhutla dalam beberapa dekade terakhir yang diakibatkan oleh faktor alami dan antropogenik di pulau Kalimantan. Data yang dianalisis meliputi data tanpa dan dengan komponen antropogenik. Analisis data tanpa dan dengan komponen antropogenik dilakukan dengan memanfaatkan data luaran model *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan luaran model CMIP5 dan GFED untuk mengidentifikasi luasan karhutla, serta untuk mengetahui pengaruh faktor alami dan antropogenik terhadap luas karhutla di Kalimantan. Studi ini menggunakan pendekatan *Random Forests* (RF) untuk mengevaluasi kontribusi faktor alami dan faktor antropogenik terhadap luas karhutla. *Random Forests* (RF) adalah metode pembelajaran ensemble berdasarkan pohon klasifikasi dan regresi (Guo *et al.* 2016).

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan hasil analisis yang lebih mendalam mengenai pengaruh antropogenik terhadap luas karhutla di Kalimantan yang dipisahkan dari pengaruh alami. Hasil penelitian kejadian karhutla dalam beberapa dekade terakhir yang dipengaruhi oleh faktor antropogenik diharapkan dapat memberi referensi pada pemerintah daerah dan lembaga terkait dalam upaya mitigasi kebakaran hutan dan lahan.

Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian

Daerah yang dikaji adalah pulau Kalimantan, Indonesia. Pulau Kalimantan merupakan salah satu pulau di Indonesia yang rentan dengan karhutla. Secara astronomis pulau Kalimantan terletak di 8°LU hingga 5°LS dan 108°BT hingga 120°BT.

Data yang Digunakan

Data yang digunakan adalah data iklim dan data indeks karhutla di Kalimantan. Data iklim terdiri dari variabel kelembaban relatif permukaan, suhu udara permukaan, dan curah hujan.

Data iklim

Data iklim untuk wilayah Kalimantan diperoleh dari data luaran model *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). Model CMIP5 yang digunakan dalam penelitian ini adalah model MRI-CGCM3 dengan resolusi spasial 1.1° x 1.1°. Data iklim terdiri dari data *historical* dan *historicalNAT*. Data *historical* mewakili data iklim yang dipengaruhi oleh semua faktor, sementara data *historicalNAT* adalah data iklim yang dipengaruhi oleh faktor alami secara alamiah. Pemilihan model luaran CMIP5 berdasarkan ketersediaan data variabel yang dibutuhkan, mengikuti penelitian yang dilakukan oleh Lestari *et al.* (2014). Data luaran model dapat diunduh pada website: <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5/>.

Data Indeks Karhutla Di Kalimantan

Data indeks kebakaran hutan dianggap menjadi gambaran luas kebakaran hutan pada tiap grid. Data luas karhutla di Kalimantan diperoleh dari data *Global Fire Emissions Database* (GFED) yang memiliki resolusi spasial 0.25° x 0.25°. Penelitian ini difokuskan pada data area terbakar (*burn area*). Satuan data luas area terbakar adalah MegaHektare per bulan (Mha/month). GFED dapat diunduh dari situs web: <https://www.globalfiredata.org/>.

Metode Penelitian

Pengumpulan Data Observasi Luas Karhutla serta Data Iklim

Pengumpulan data dimulai dengan mengunduh data luas karhutla serta data iklim melalui laman resmi masing-masing data. Data luas karhutla diunduh di laman resmi GFED <https://www.globalfiredata.org/>. Data iklim diunduh dari laman resmi CMIP5 <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5/>.

Penyamaan Resolusi Data

Data *burn area* yang diperoleh dari GFED dan data iklim luaran model CMIP5 memiliki resolusi spasial berbeda. Perbedaan resolusi ini akan menyebabkan data tidak dapat diolah dan dianalisis. Untuk menyamakan resolusi kedua data tersebut digunakan Fungsi *Interp2*.

Fungsi *interp2* dipakai untuk menghasilkan data grid dengan resolusi sama atau seragam. Interpolasi merupakan suatu metode atau fungsi matematika untuk menduga nilai pada lokasi-lokasi yang datanya tidak tersedia. Interpolasi adalah proses memprediksi nilai pada suatu titik yang bukan merupakan titik sampel berdasarkan pada nilai-nilai dari titik-titik di sekitarnya yang berkedudukan sebagai sampel. Tanpa adanya langkah interpolasi ini, maka analisis spasial tidak dapat dilakukan secara akurat (Hadi, 2013).

$$\text{landbaru}=\text{interp2}(\text{X},\text{Y},\text{landlama},\text{X1},\text{Y1})$$

Proses Pemodelan Luas Karhutla Menggunakan Random Forests

Data observasi luas karhutla di Kalimantan yang diperoleh merupakan data luas karhutla yang dipengaruhi oleh seluruh faktor. Data tersebut tidak dapat digunakan untuk melihat luas karhutla yang dipengaruhi hanya oleh faktor antropogenik. Luas karhutla yang dipengaruhi hanya oleh faktor antropogenik diperoleh dari selisih antara luas karhutla yang dipengaruhi oleh semua faktor (faktor alami dan faktor antropogenik) dan luas karhutla yang dipengaruhi hanya oleh faktor alami. Oleh karena itu dibutuhkan suatu teknik statistik untuk membangun model luas karhutla yang dipengaruhi oleh semua faktor dan luas karhutla yang dipengaruhi oleh faktor alami.

Luas karhutla yang dipengaruhi oleh semua faktor dan luas karhutla yang dipengaruhi oleh faktor alami dianalisis dengan menggunakan teknik statistik *Random Forests*. Pada penelitian ini, teknik statistik *Random Forests* memanfaatkan *meachine learning* dengan perintah sebagai berikut:

```
Model = TreeBagger (ntrees, Xhist, Y, 'method', 'regression');
```

```
Ypredict_hist=predict(Model, Xhist);
```

```
Ypredict_nat=predict(Model, Xnat);
```

Model adalah luas karhutla yang dihasilkan melalui teknik *random forest*, *Ypredict_hist* adalah model luas karhutla yang dipengaruhi oleh faktor alami dan antropogenik, *Ypredict_nat* adalah model luas karhutla yang dipengaruhi oleh faktor alami, *X_{hist}* adalah data iklim yang dipengaruhi

oleh faktor alami dan faktor antropogenik, *X_{nat}* adalah data iklim yang dipengaruhi oleh faktor alami, *Y* adalah data observasi luas karhutla.

Proses Analisis Pengaruh Antropogenik

Model yang dihasilkan oleh *Random Forests* adalah luas karhutla di Kalimantan yang dipengaruhi oleh semua faktor dan faktor alami. Kontribusi faktor antropogenik terhadap luas karhutla di masa lalu dianalisis dengan menggunakan hasil pengurangan antara luas karhutla yang dipengaruhi oleh semua faktor dengan luas karhutla yang hanya dipengaruhi oleh faktor alami. Persamaan yang digunakan untuk menentukan luas karhutla yang dipengaruhi faktor antropogenik sebagai berikut:

$$Y_{\text{predict_Ant}} = Y_{\text{predict_hist}} - Y_{\text{predict_nat}}$$

Ypredict_Ant adalah luas karhutla yang dipengaruhi oleh faktor antropogenik

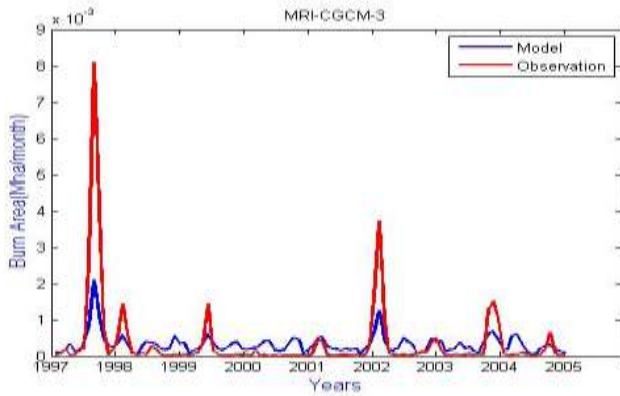
Hasil dan Pembahasan

Kondisi umum luas Karhutla di Kalimantan

Karhutla adalah luas daerah terbakar hutan dan lahan yang dipengaruhi oleh faktor alami dan faktor antropogenik. Menurut ADB (*Asian Development Bank*) dalam Tacconi (2003) bahwa luas tertinggi karhutla di Kalimantan pada tahun 1997 hingga 2005 terjadi pada tahun 1997, 1998 dan terulang pada tahun 2002.

Menurut Wahana Lingkungan Hidup (WALHI) memperkirakan pada tahun 1997/98 hutan dan lahan di Indonesia terbakar sekitar 13 juta, sementara menurut Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) bersama ADB mengestimimasikan 9,75 juta ha (Hunawan 2016). Menurut Siegert and Hoffmann (2000) pada tahun 1997/98 Indonesia mengalami bencana kebakaran terbesar dalam sejarahnya sendiri dan global.

Luas karhutla yang dihasilkan dari data iklim (curah hujan, kelembaban permukaan dan suhu permukaan) luaran model MRI-CGCM-3 menggunakan metode *Random Forests* memperlihatkan bahwa luas tertinggi karhutla terjadi pada tahun 1997 dan 2002, masing – masing dengan luas $\pm 2,1$ juta ha dan $\pm 1,4$ juta ha. Menurut data observasi yang diperoleh dari data GFED khusus data *burn area*, dua peristiwa tertinggi luas karhutla yang terjadi di Kalimantan selama periode 1997 hingga 2005 terjadi pada tahun 1997 dan 2002. Luas karhutla di Kalimantan berdasarkan data observasi pada tahun 1997 adalah $\pm 8,2$ juta ha dan pada tahun 2002 adalah $\pm 4,1$ juta ha (Gambar 1).



Gambar 1. Luas kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan 1997 hingga 2005 menurut data observasi (merah) dan data model (biru).

Figure 1. Area of forest and land fires in Kalimantan from 1997 to 2005 according to observational data (red) and model data (blue)

Pada tahun – tahun luas karhutla tinggi seperti tahun 1997 dan 2002, data model luas karhutla *under estimate* terhadap data observasi luas karhutla, jika luas karhutla rendah maka data model luas karhutla *over estimate* terhadap data observasi luas karhutla. Hal ini disebabkan oleh data model luas karhutla terdiri dari data iklim (curah hujan, suhu permukaan, dan kelembaban) yang dibangun dengan metode statistik *random forests* menjadi data luas kebakaran hutan dan lahan.

Pengaruh Antropogenik Terhadap Luas Karhutla

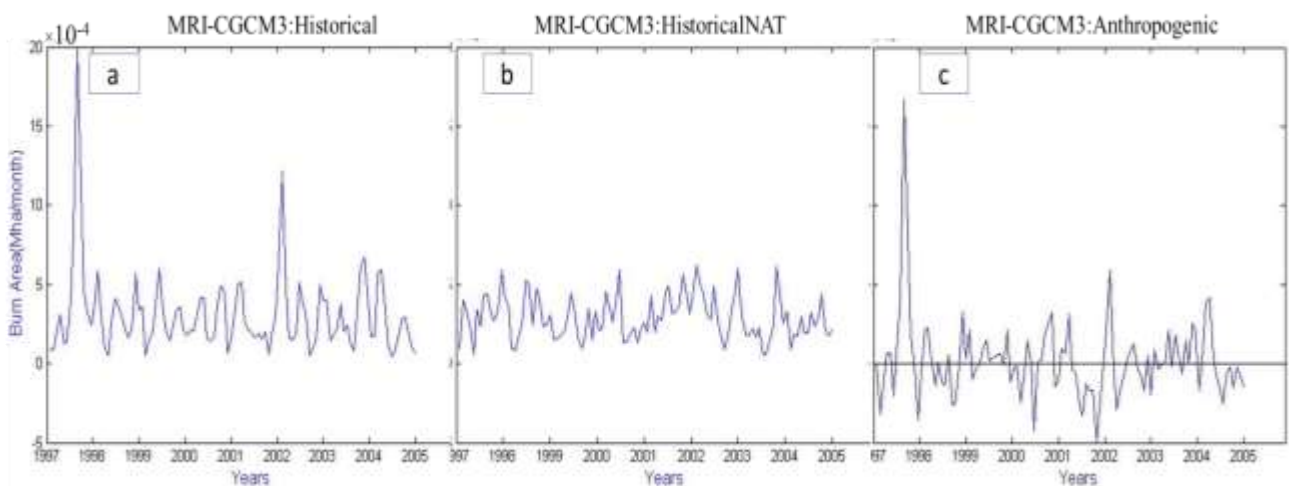
Karhutla dapat dipengaruhi oleh faktor alami dan faktor antropogenik. Faktor alami yang dimaksud antara

lain adalah faktor iklim, termasuk yang dipengaruhi oleh fenomena alam yang disebabkan oleh interaksi antar laut dan atmosfer seperti El Niño dan IOD. Selama periode 1997 hingga 2005 tercatat bahwa El Niño 1997-98 memiliki curah hujan paling rendah di Indonesia menyebabkan kondisi kebakaran yang meluas (Byron and Shepherd 1998). Menurut Siegert and Hoffmann (2000) karhutla di Kalimantan didorong kuat oleh fenomena El Niño. Kondisi cuaca kering yang disebabkan oleh fenomena El Niño di Kalimantan Timur berlangsung hingga Mei 1998. Data menunjukkan tidak ada curah hujan yang signifikan di Samarinda dan Balikpapan dari Januari hingga akhir April (Siegert and Hoffmann 2000).

Menurut Langmann and Heil (2004), setiap tahun selama musim kemarau kebakaran akibat pembukaan lahan dilakukan di Indonesia, kebakaran menjadi tidak terkendali khususnya di Kalimantan dan Sumatra. Kegiatan pembakaran berhenti pada Oktober/ November dengan dimulainya musim hujan.

Menurut model MRI-CGCM-3 pada tahun kejadian luas karhutla tinggi, yaitu pada tahun 1997 dan 2002, faktor antropogenik memberikan pengaruh negatif (bernilai positif) terhadap luas karhutla di Kalimantan (Gambar 2), artinya pada tahun 1997 dan 2002 faktor antropogenik menyebabkan luas karhutla meningkat.

Pengaruh faktor iklim alami selalu bernilai positif sepanjang tahun 1997 hingga 2005, artinya pengaruh faktor iklim alami selalu mendukung terjadinya karhutla di Kalimantan. Pada tahun luas karhutla tinggi yakni pada tahun 1997 dan 2002, pengaruh faktor alami tidak dominan dibandingkan faktor antropogenik.

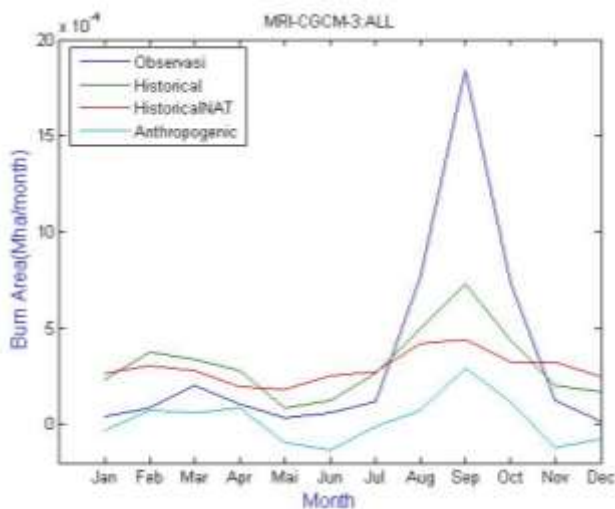


Gambar 2. Distribusi Temporal Luas Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan Berdasarkan Model *MRI-CGCM-3*: (a) *Historis*, (b) *Alami*, (c) *Antropogenik*

Figure 2. Temporal Distribution of Forest and Land Fire Areas in Kalimantan Based on the *MRI-CGCM-3* Model: (a) *Historical*, (b) *HistoricalNAT*, (c) *Anthropogenic*

Variasi Musiman Luas Karhutla di Kalimantan

Variasi musiman luas karhutla adalah keadaan luas karhutla secara umum atau secara rata-rata yang terjadi pada satu daerah untuk jangka waktu tertentu. Variasi musiman luas karhutla di Kalimantan ditunjukkan oleh Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat bahwa luas karhutla di Kalimantan pada periode 1997 sampai 2005, mengalami peningkatan pada bulan Juli dan mencapai puncak di bulan September dan mulai meluruh pada bulan Oktober/November. Pada Juli hingga November Indonesia mengalami dua musim monsun, yaitu musim monsun timur yang terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus dan musim peralihan II yang terjadi pada bulan September, Oktober dan November (SON). Keadaan normal pada musim monsun timur, di bagian timur Samudera India (Indonesia) akan mengalami defisit curah hujan. Pada bulan SON, di bagian timur Samudera India menerima intensitas curah hujan lebih tinggi (Mareta *et al.* 2017).



Gambar 3. Variasi Musiman Luas Kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan

Figure 3. Seasonal Variation in Area of Forest and land fires in Kalimantan

Bulan – bulan kering akan menyebabkan pertumbuhan titik api di wilayah Kalimantan meningkat secara signifikan (Prayoga *et al.* 2017). Menurut Aflahah (2018), pada saat curah hujan mengalami peningkatan, yaitu mulai bulan Oktober – Desember, jumlah hotspot berkurang bahkan tidak dijumpai sama sekali. Sebaliknya, pada saat curah hujan rendah atau tidak terjadi hujan, maka terdapat hotspot dalam jumlah tinggi seperti pada bulan-bulan kering yaitu Mei-Oktober, di mana curah hujan mengalami titik terendah. Semakin banyak jumlah hotspot, menggambarkan intensitas kebakaran hutan yang semakin tinggi.

Model MRI-CGCM3 memiliki korelasi variasi musiman antara data observasi luas karhutla dengan model historis luas karhutla sebesar 0.9073 yang menggambarkan eratnya hubungan antara data observasi dan data model. Kedua variabel menunjukkan historis variasi musiman luas karhutla di Kalimantan mulai mengalami peningkatan di bulan Juni, mencapai puncak di bulan September dan mulai berkurang pada bulan November. Variasi musiman luas karhutla yang dipengaruhi oleh faktor alami mengalami peningkatan pada bulan Juli dan mengalami penurunan pada bulan Oktober. Pada bulan Juli hingga Oktober keadaan umum curah hujan di Indonesia rendah (Mareta *et al.* 2019) akibatnya pertumbuhan titik api meningkat.

Pola variasi musiman luas karhutla di Kalimantan yang dipengaruhi oleh faktor antropogenik mirip dengan pola historis, yakni mengalami peningkatan pada bulan Juni, mencapai puncak di bulan September dan mulai mengalami penurunan pada bulan November.

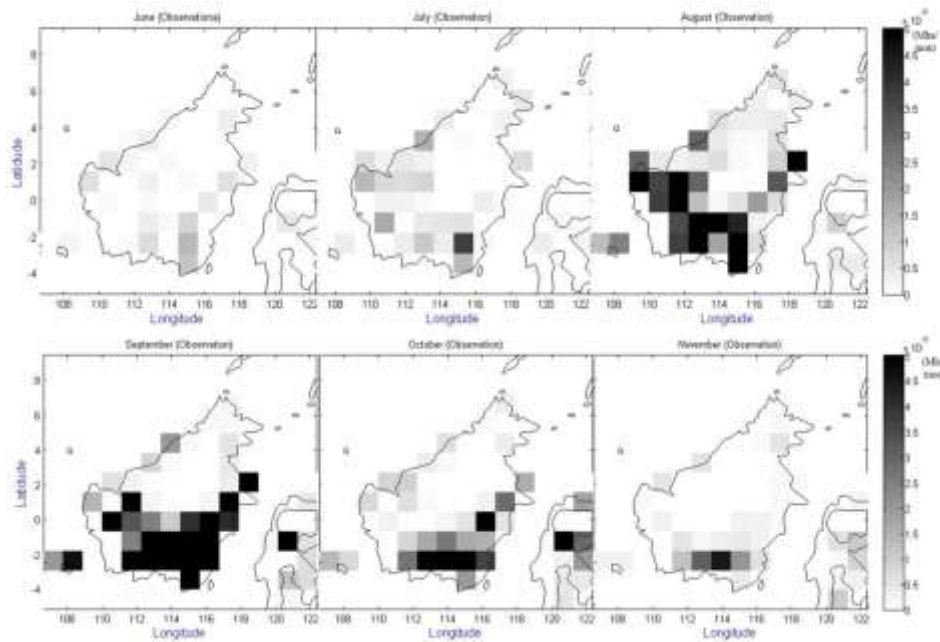
Distribusi Spasial Historis Luas Karhutla di Kalimantan

Distribusi spasial data observasi luas karhutla di Kalimantan pada periode 1997 sampai 2005 dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4 memperlihatkan luas karhutla di Kalimantan mulai mengalami peningkatan pada bulan Juli, mencapai puncak di bulan September, dan pada bulan November luas karhutla di Kalimantan mulai menurun.

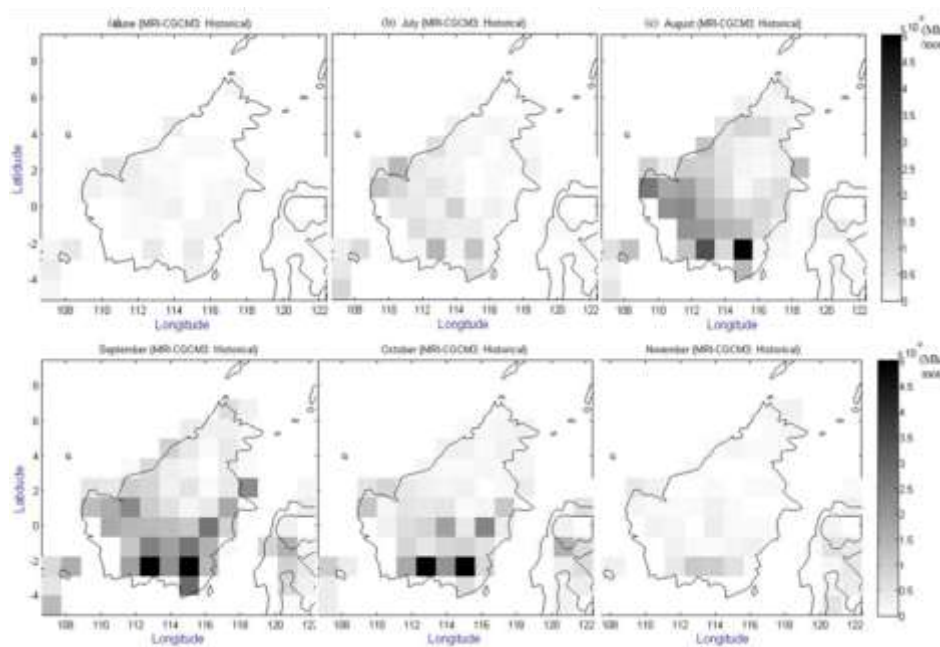
Peningkatan luas karhutla di Kalimantan yang terjadi pada bulan Juli di mulai di Kalimantan Selatan, dan pada bulan Agustus penambahan luas karhutla mulai merambat ke sebagian Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat. Karhutla pada bulan September semakin meluas. Pada bulan Agustus area luas karhutla yang tinggi terjadi pada sebagian Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat. Sementara, pada bulan September area terbakar merambat ke sebagian Kalimantan Timur.

Luas karhutla di sebagian area Kalimantan Barat pada bulan Oktober mulai menurun, dan pada bulan Oktober area yang terbakar hanya terfokus di sebagian daerah Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur. Sementara, pada bulan November luas karhutla mulai menurun. Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Barat pada bulan November tidak ada lagi area yang terbakar, walaupun ada tetapi tidak lebih luas dibandingkan dengan Kalimantan Tengah, sedangkan di sebagian Kalimantan Tengah masih terdapat area yang terbakar.

Pola spasial luas karhutla di Kalimantan berdasarkan Model MRI-CGCM-3 dijelaskan oleh Gambar 5. Luas karhutla berdasarkan model MRI-CGCM-3 mulai mengalami peningkatan pada bulan Juli, area terbakar



Gambar 4. Distribusi spasial observasi luas kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan (juta ha/bulan)
 Figure 4. Spatial Distribution of observed forest and land fires in Kalimantan (Mha/month)



Gambar 5. Hasil analisis menggunakan Model MRI-CGCM3: Spasial historis luas kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan (Juta ha/bulan)
 Figure 5. Results of MRI-CGCM3 Model analysis: Historical Spatial Distribution of forest and land fires in Kalimantan (Mha/month)

tertinggi terjadi di sebagian daerah Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah. Sebaran luas karhutla yang semula pada bulan Juli hanya terjadi di Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah mengalami ekspansi ke Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur pada bulan Agustus dan

bulan September. Pada bulan Oktober luas karhutla mulai menurun di Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan, sementara di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan masih terdapat area yang terbakar. Sementara, pada bulan November di Kalimantan yang masih ada area terbakar

hanya di Kalimantan Tengah.

Luas Karhutla NAT (*Natural Forcing*)

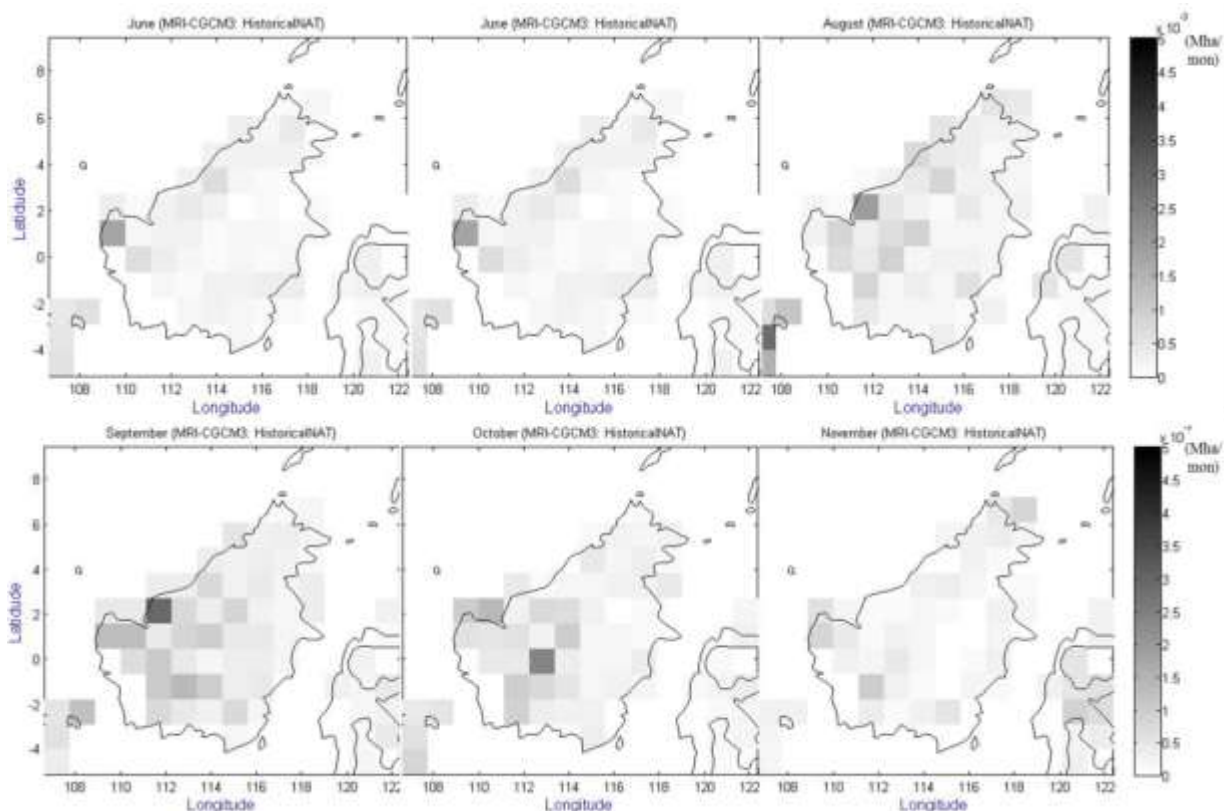
Karhutla NAT adalah kebakaran hutan dan lahan yang dipengaruhi oleh faktor iklim alami saja. Luas karhutla di Kalimantan yang dipengaruhi oleh faktor alami dianalisis menggunakan data iklim yang dipengaruhi oleh faktor alami (*Nat Forcing*) luaran model CMIP5. Fenomena alami yang terjadi selama periode 1997 hingga 2005 adalah fenomena El Niño, La Nina, dan IOD. Fenomena El Niño terjadi pada tahun 1997, 2002, dan 2004. Sementara fenomena La Nina terjadi pada tahun 1998, 2000, dan 2005. Dan fenomena IOD terjadi pada tahun 1997, 2002, dan 2003 (Lestari *et al.* 2018). Dampak penurunan curah hujan signifikan ketika El Niño dan IOD positif terjadi secara bersamaan terjadi. Sementara itu, curah hujan meningkat secara signifikan ketika La Nina dan IOD negatif bersamaan terjadi (Ngestu and Hidayat 2016).

Luas karhutla di Kalimantan yang dipengaruhi oleh faktor alami (Gambar 6) menunjukkan bahwa pada bulan

Juni hingga Agustus mengalami peningkatan di daerah Kalimantan Barat, sementara pada bulan September luas karhutla mengalami ekspansi ke Kalimantan Tengah dan pada bulan September mencapai luasan area terbakar tertinggi. Pada bulan Oktober luas karhutla mulai menurun di berbagai daerah Kalimantan. Luas karhutla yang dipengaruhi oleh faktor alami menurut model MRI-CGCM3 mendominasi di Kalimantan Barat.

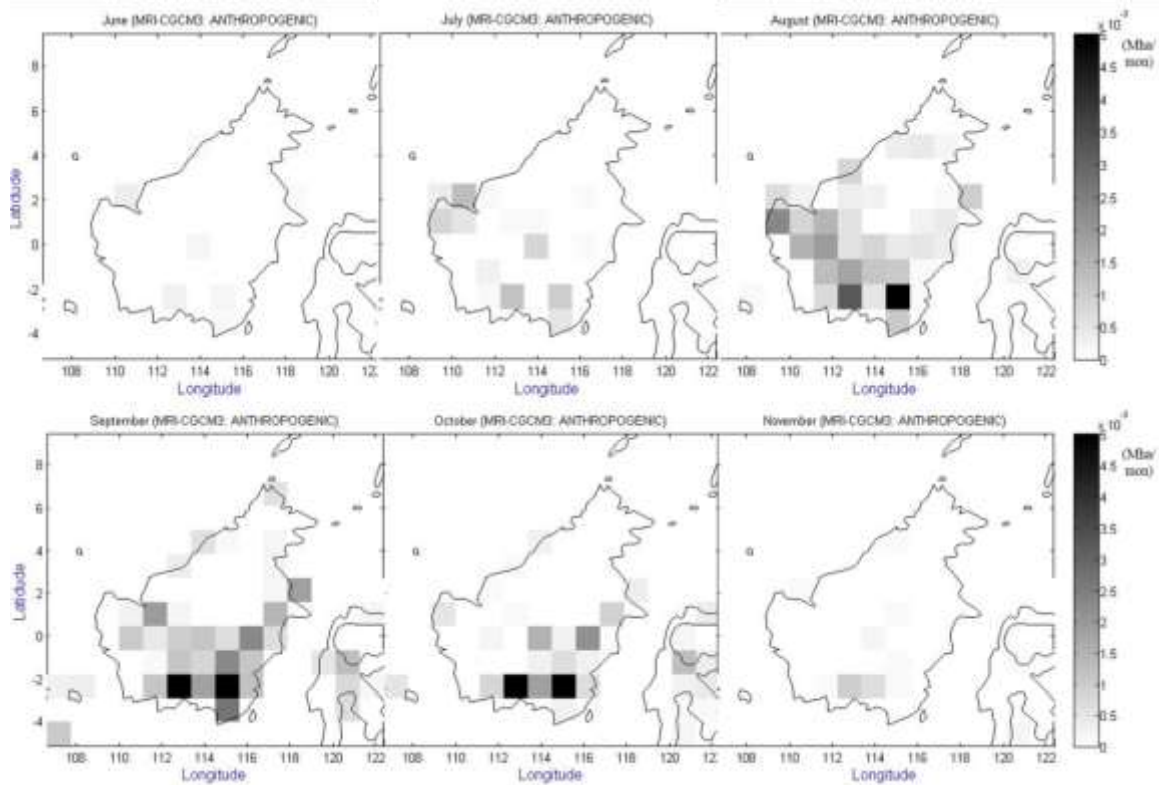
Luas Karhutla Antropogenik

Luas Karhutla di Kalimantan yang dipengaruhi oleh faktor antropogenik menurut model MRI-CGCM3 dijelaskan pada Gambar 7. Kebakaran mulai mengalami peningkatan pada bulan Juli di daerah sebagian Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Pada bulan Agustus terjadi ekspansi luas Karhutla yang dipengaruhi oleh faktor antropogenik ke Kalimantan Barat. Di bulan September, luas Karhutla yang dipengaruhi oleh faktor antropogenik menyebar ke Kalimantan Timur dan pada bulan September mencapai puncak luasan. Pada bulan Oktober di Kalimantan Barat dan Kalimantan Timur tidak



Gambar 6. Hasil analisis menggunakan Model *MRI-CGCM3*: Distribusi Spasial historis NAT luas kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan (Juta ha/bulan)

Figure 6. Results of *MRI-CGCM3* Model analysis: Historical NAT Spatial Distribution of forest and land fires in Kalimantan (Mha/month)



Gambar 7. Hasil analisis menggunakan Model *MRI-CGCM3*: distribusi spasial antropogenik luas kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan (Juta ha/bulan)

Figure 7. Results of *MRI-CGCM3* Model analysis:: Anthropogenic spatial distribution of forest and land fires in Kalimantan (Mha/month)

ada lagi area terbakar, area terbakar hanya terfokus di Kalimantan Selatan dan sebagian Kalimantan Tengah.

Kesimpulan

Data iklim luaran model CMIP5 dan GFED yang diolah menggunakan teknik *random forest* dapat menghasilkan model luas karhutla. Data luas karhutla hasil model menunjukkan kondisi yang *underestimate* pada saat karhutla sangat tinggi dan *overestimate* saat karhutla rendah. Meskipun demikian, pola luas karhutla hasil model mirip dengan hasil observasi.

Hasil model luas karhutla menunjukkan bahwa luas tertinggi kebakaran hutan dan lahan selama periode 1997 hingga 2005 terjadi pada tahun 1997 dan 2002. Pada tahun 1997 dan 2002 faktor antropogenik memberikan pengaruh dominan dibandingkan faktor alami. Pengaruh faktor antropogenik bernilai positif (menyebabkan luas karhutla meningkat). Hasil *random forest* menunjukkan bahwa variasi musiman luas kebakaran hutan dan lahan yang dipengaruhi oleh semua faktor mulai meningkat pada bulan Juni, mencapai puncak di bulan September dan mulai berkurang pada bulan November. Variasi musiman luas kebakaran hutan dan lahan yang dipengaruhi oleh

faktor alami mengalami peningkatan pada bulan Juli dan mengalami penurunan pada bulan Oktober.

Luas karhutla yang dipengaruhi oleh faktor antropogenik mengalami peningkatan pada bulan Juni dan mulai mengalami penurunan pada bulan November. Peningkatan pada bulan Juli terjadi pada sebagian Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Pada bulan Agustus dan September terjadi ekspansi ke Kalimantan Barat dan Kalimantan Timur, dan pada bulan Oktober area terbakar hanya terkonsentrasi di Kalimantan Selatan dan sebagian Kalimantan Tengah

Daftar Pustaka

Aflahah E, Hidayati R, Hidayat R, Alfahmi F. 2019 Pendugaan *Hotspot* Sebagai Indikator Kebakaran Hutan di Kalimantan Berdasarkan Faktor Iklim. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alami dan Lingkungan* 9(2): 405-418.

[BNPB] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2013. Rencana Kontinjensi Nasional Menghadapi Ancaman Bencana Asap Akibat Kebakaran Hutan dan Lahan. Jakarta (ID): BNPB.

Byron N, Shepherd G. 1998. Indonesia And The 1997-98 El Niño : Fire Problems and Long-term Solutions. *Journal of Natural Resource Perspective* (28).

- Guo F, Zhang L, Jin S, Tigabu M, Su Z, Wang W. 2016. Modeling Anthropogenic Fire Occurrence in the Boreal Forest of China Using Logistic Regression and Random Forests. *Journal of Forest* 7(11):1–14. doi:10.3390/f7110250.
- Hunawan D. 2016. Menyelesaikan Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla) di Indonesia Melalui “Jalan Pantas” atau “Jalan Pintas”? In *Seminar Nasional Hukum*, pp. 277–292.
- Langmann B, Heil A. 2004. Release and Dispersion of Vegetation and Peat Fire Emissions in The Atmosphere over Indonesia 1997/1998. *Journal Atmospheric Chemistry and Physics*. 4:2145–2160.
- Lestari DO, Sutriyono E, Iskandar I. 2018. Respective Influences of Indian Ocean Dipole and El Niño- Southern Oscillation on Indonesian Precipitation Datasets and Methods. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*. 50(3):257–272. doi:10.5614/j.math.fund.sci.2018.50.3.3.
- Lestari RK, Watanabe M, Imada Y, Shioyama H, Field RD, Takemura T, Kimoto M. 2014. Increasing Potential of Biomass Burning over Sumatra, Indonesia Induced by Anthropogenic Tropical Warming. *Environmental Research Letters* 9(10): doi:10.1088/1748-9326/9/10/104010.
- Mareta L, Iskandar I, Mardiansyah W. 2017. Analisis Fenomena India Ocean Dipole (IOD) Positif Tahun 2012 dan IOD Negatif Tahun 2010 Menggunakan Data Satelit. Di dalam: Maison, Feri TP, Ahmad S, Evtita, Novferma, Rosi WA, Aulia UM, Martina AR, editor. *Semirata 2017 Bidang Mipa*; 2017 Mei 12-14; Jambi, Indonesia. Jambi (ID): Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP). hlm. 785–793.
- Mareta L, Hidayat R, Hidayati R, Alsepan G. 2019. Influence Of The Positive Indian Ocean Dipole In 2012 and El Niño-Southern Oscillation (ENSO) in 2015 on The Indonesian Rainfall Variability. Di dalam: LISAT-FSEM 2018, IOP IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 284 012018. doi:10.1088/1755-1315/284/1/012018.
- Ngestu M, Hidayat R. 2016. Influences of IOD and ENSO to Indonesian Rainfall Variability: Role of Atmosphere-Ocean Interaction in The Indo-Pacific Sector. In *The 2nd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite for Food Security and Environmental Monitoring 2015, LISAT-FSEM 2015*, Elsevier B.V. hlm. 196–203.
- Prayoga MBR, Yananto A, Kusumo A. 2017. Correlational Analysis between Hotspots Density and Rainfall in Sumatera and Kalimantan. *Jurnal Sains dan Modifikasi Cuaca* 18(1):17–24.
- Siegert F, Hoffmann AA. 2000. The 1998 Forest Fires in East Kalimantan (Indonesia): A Quantitative Evaluation Using High Resolution, Multitemporal ERS-2 SAR Images and NOAA-AVHRR Hotspot Data. *Journal remote sensing* (72):64-77.
- Hadi BS. 2013. Metode Interpolasi Spasial Dalam Studi Geografi (Ulasan Singkat dan Contoh Aplikasinya). *Jurnal Geomedia* 11:231–240.
- Tacconi L. 2003. Kebakaran Hutan di Indonesia: CIFOR Occasional Paper 38(i):38